

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-155855

(P2000-155855A)

(43) 公開日 平成12年6月6日(2000.6.6)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード [*] (参考)
G 0 6 T 15/00		G 0 6 F 15/62	3 6 0
G 0 6 F 3/033	3 1 0	3/033	3 1 0 A
17/60		E 2 1 D 9/00	C
17/50		G 0 6 F 15/21	Z
// E 2 1 D 9/00		15/60	6 1 0 C
審査請求 未請求 請求項の数7 O L (全 13 頁)			

(21) 出願番号 特願平11-183168

(22) 出願日 平成11年6月29日(1999.6.29)

(31) 優先権主張番号 特願平10-199617

(32) 優先日 平成10年6月30日(1998.6.30)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000235543

飛島建設株式会社

東京都千代田区三番町2番地

(72) 発明者 近久 博志

東京都千代田区三番町2番地 飛島建設株式会社内

(72) 発明者 小林 薫

東京都千代田区三番町2番地 飛島建設株式会社内

(74) 代理人 100098246

弁理士 砂場 哲郎

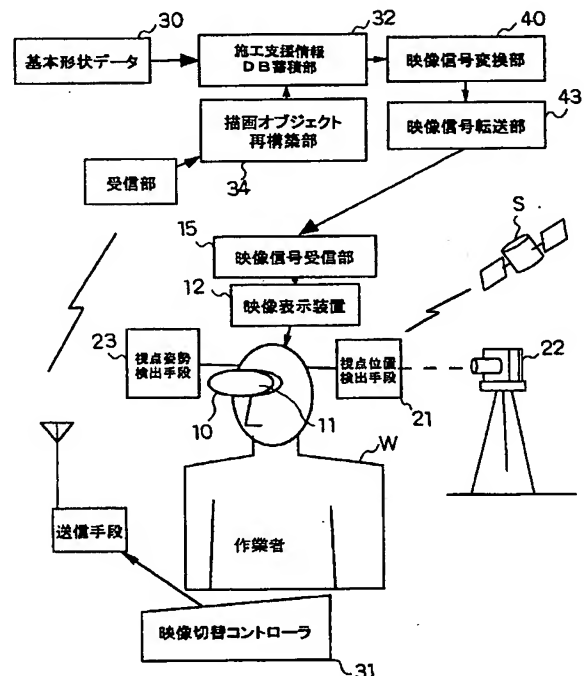
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 仮想現実感を利用した施工支援情報システム。

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 建設工事において施工支援のために仮想現実感を用いて、解析情報のフィードバック、作業の安全、効率化、高精度化を図る。

【解決手段】 作業者Wの視点位置を得る反射プリズム21と、視点姿勢を得るジャイロセンサー23と、装着したゴーグル11を介して表示素子12に表示された映像情報が、内蔵光学系を介して投影されるシースルーヘッドマウントディスプレイ10と、描画オブジェクトを蓄積した施工支援情報データベース蓄積部32と、求められた作業者Wの位置情報に基づいて、観察対象となる現実空間の既定座標に描画オブジェクトを重畳させるために逐次、描画オブジェクトを再構築する描画オブジェクト再構築部34と、再構築された描画オブジェクトの画像データを表示素子12に表示可能な映像情報信号に変換する映像信号変換部40と、映像信号受信部15に映像情報信号を転送し、立体映像を投影する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 作業者の視点位置を得る視点位置検出手段と、作業者の視点姿勢を得る視点姿勢検出手段と、装着したゴーグルを介して観察対象となる外界の現実空間を視野内に捉えるために、前記外界からの入射光を透過する一方、装備された表示素子に表示された映像情報が、内蔵光学系を介して投影される半透過面を有する映像表示手段と、前記観察対象となる現実空間に施工される構造物の形状を 3 次元形状データから生成した描画オブジェクトを蓄積した施工支援情報データベース蓄積部と、前記視点位置検出手段と視点姿勢検出手段とから求められた前記作業者の位置情報及び前記作業者の移動に伴って変化した位置情報に基づいて、前記観察対象となる現実空間の既定座標に前記描画オブジェクトを重ねさせるために逐次前記描画オブジェクトを再構築する描画オブジェクト再構築部と、前記再構築された描画オブジェクトの画像データを前記映像表示手段に搭載された表示素子に表示可能な映像情報信号に変換する映像信号変換部と、前記映像表示手段に装備された映像信号受信部に前記映像情報信号を転送する映像信号転送部とから構成されたことを特徴とする仮想現実感を利用した施工支援情報システム。

【請求項 2】 作業者の視点位置を得る視点位置検出手段と、作業者の視点姿勢を得る視点姿勢検出手段と、装着したゴーグルを介して観察対象となる外界の現実空間を視野内に捉えるために、前記外界からの入射光を透過する一方、装備された表示素子に表示された映像情報が、内蔵光学系を介して投影される半透過面を有する映像表示手段と、現場で収集され所定の通信手段で送信された計測データを入力値として用いて解析を行う解析部と、該解析部から返送された解析結果を加工し、前記視野内に投影可能な情報表示データとして生成された描画オブジェクトを蓄積した施工支援情報データベース蓄積部と、前記視点位置検出手段と視点姿勢検出手段とから求められた前記作業者の位置情報及び前記作業者の移動に伴って変化した位置情報に基づいて、前記観察対象となる現実空間の既定座標に前記描画オブジェクトを重ねさせるために逐次前記描画オブジェクトを再構築する描画オブジェクト再構築部と、前記再構築された描画オブジェクトの画像データを前記映像表示手段に搭載された表示素子に表示可能な映像情報信号に変換する映像信号変換部と、前記映像表示手段に装備された映像信号受信部に前記映像情報信号を転送する映像信号転送部とから構成されたことを特徴とする仮想現実感を利用した施工支援情報システム。

【請求項 3】 前記施工支援情報データベース蓄積部は、前記描画オブジェクトが、所定のメニューに対応したインデックスを付与して蓄積され、前記作業者が手元の映像切替手段の操作により前記インデックスを選択して前記映像表示手段に投影される映像情報を変更するように

したことを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載の仮想現実感を利用した施工支援情報システム。

【請求項 4】 前記解析部は、逆解析システムであることを特徴とする請求項 2 に記載の仮想現実感を利用した施工支援情報システム。

【請求項 5】 前記解析部は、3 次元地質分析システムであり、該システムの断面データを連続した画像データとして生成し、前記施工支援情報データベースに蓄積させたことを特徴とする請求項 2 に記載の仮想現実感を利用した施工支援情報システム。

【請求項 6】 前記解析部は、対策工選定エキスパートシステムであり、該システムに蓄積された所定の対策工情報が選択された段階で、画像データとして生成されるようにしたことを特徴とする請求項 2 に記載の仮想現実感を利用した施工支援情報システム。

【請求項 7】 前記解析部は、キーブロック解析システムであり、該システムで求められたキーブロックの形状及び/または規模が、画像データとして生成されるようにしたことを特徴とする請求項 2 に記載の仮想現実感を利用した施工支援情報システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は仮想現実感を利用した施工支援情報システムに係り、特に建設工事において現実空間に重ね合わせて映し出された仮想立体映像を利用して対象とする現場に即した計測データの解析結果情報、施工管理情報等を提供し、施工の合理化を図るようにした仮想現実感を利用した施工支援情報システムに関する。

【0002】

【従来の技術】 近年のコンピュータ技術の発達により、リアルな仮想立体映像を現実空間に取り込んだ仮想現実感の提案がなされている。あらかじめ立体図形の動画として作成された CG (コンピュータグラフィックス) を仮想立体映像として、観察者が装着した HMD (ヘッドマウンテッドディスプレイ) に投影し、観察者がゴーグルを通して見た現実空間と光学的に合成して観察者に視覚的な作業情報を提供し、現実空間内での作業者の行動支援を行うシミュレーションシステムが種々提案されている。このシミュレーションシステムは AR (オーグメンテッドリアリティ) システムと呼ばれている。この AR システムでは観察者の行う様々な作業を支援するために、適切な作業示唆の行える高精度の CG 情報を提供することが求められている。

【0003】 この AR システムでは、ゴーグルを通して入射する外界からの光を透過させるように位置するハーフミラー上に、HMD に組み込まれた表示素子に表示された CG による仮想構造等の立体映像を、入射光と重ね合わせるようにして、光学系を介して投影させることができるシースルータイプの HMD が利用されている。こ

のようにシースルータイプのHMD（以下、STHMDと記す。）を利用したARシステムでは、観察者が見ている現実空間にCG映像空間を光学的に精度よく重ね合わせることで現実空間と仮想立体空間との融合を図り、観察者の仮想現実感を実現することができる。このため、このARシステムではSTHMDを装着した観察者の視点の3次元位置を把握することが重要である。今のところ観察者がSTHMDを利用できる環境として室内の実験室レベルが現実的なものとされている。

【0004】ところで、屋外での作業の多い土木工事では上述したような仮想現実感を作業効率化のために利用した事例は報告されていないが、原位置の風景写真等にCGによって作成した完成予想構造物をはめ込んで形状や色彩のシミュレーションを行う手法は従来から行われている。すなわち、土木、建築等の建設工事では構造物の建設位置を絶対座標で把握し、その絶対座標をもとに設計上の構造寸法を有する構造物を構築する。このため、現実空間上に所定寸法のCG映像による各種構造物をはめ込み、これを利用して各種の施工を行うことができれば、いわゆる熟練作業による成果と同等の品質の施工が可能となり、各工程での作業の効率化、精度向上を実現できることになる。

【0005】また、実際の施工では、出来形管理のための計測等を行うとともに、施工の進行により変化する地盤状況や工事の影響による地山の変状等を計測し、そのデータをもとに変状に対する対策工を教唆したり、適切な施工を行うための各種の解析が行われている。これらの解析結果をもとにトンネル建設工事等において進行する切羽位置の地盤状況が刻々と変化するような場合、その地山変状をあらかじめ予測し、安全に施工を行うための必要な情報を得ることができる。

【0006】トンネル掘削工事において、このような計測結果をもとにした解析例として以下の解析システムが出願人により開発されている。

①逆解析

事前にトンネル対象断面の解析モデルを作成し、各種計測データをもとに逆解析を行い、周辺地山の弾性係数、初期地圧、ポアソン比（逆解析によるアウトプット）を同定する。この同定値を用いて次段階掘削に伴う地山や支保部材の変位・応力予測を行う。

②3次元地質分析システム

トンネル切羽のデジタル画像を利用して地山のトンネル縦断方向における地質構造を分析し、切羽奥部における地質の変化をあらかじめ想定し、そのための事前対策工を行う。

③対策工選定ファジーエキスパートシステム

切羽画像データや切羽観察記録などの施工データベースを用いて、遭遇した破砕帯等に対して適切な対策工等を選定し、事前対策および応急対策などの施工に利用する。

④キーブロック解析

キーブロック解析は、空洞やトンネル掘削時において、潜在的に滑り出す危険性のある岩石ブロック（キーブロック）の位置、規模を推定するもので、このキーブロックに対して所定の対策工を行うことで、トンネル等の安定を図る。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】ところで、トンネル掘削工事を例にした土木建設工事においては、以下のような作業においてARシステムの導入によって以下に示している作業の効率化、高精度化の余地が見込まれる。

【0008】(1)切羽での発破孔削孔や支保部材としてのロックボルト孔削孔、切羽前方の地盤支持のための先受け工法におけるフォアパイリング工においては、その削孔位置はレーザーマーカークーや直接測量して割り出した位置をペイント等でマーキングし、その位置にドリルジャンボに搭載された削孔機のノミ位置をオペレータが操作盤を操作して位置合わせを行っていた。従って、作業上熟練が必要であった。

(2)支保工建て込みでは、レーザーマーカークーにより支保工建て込み位置をマーキングし、吊り込み機械に把持された状態の支保工を重機オペレータの操作によりあらかじめ測量により位置決めされた箇所に吊り込むようにしてした。

(3)覆工コンクリートの配筋等は設計図面をもとに実測しながら行っていた。

(4)出来形管理の場合では、トンネルの2次覆工の完成後、計測担当者がトンネル内に所定間隔をあけて設定された測点での内寸寸法等をスチールテープや測距装置を用いて実測していた。

【0009】すなわち、従来のトンネル施工では、次のような点が問題点として指摘されている。また、上述の解析結果等を現場施工において、より効果的に利用するための方策が提案されている。

(1)切羽における発破孔やロックボルト孔、フォアパイリング孔の削孔では、レーザーマーカークーにより岩盤面の削孔位置は確認できるが、岩盤内に延びる孔の方向を決定するためのノミ角度（差し角）の決定等は熟練した作業者の勘と経験に頼った作業であった。適正な差し角での削孔が行えないと、トンネル周辺に余掘りや内空断面不足が生じる。

(2)重機オペレータは支保工を建て込む位置を直接見ることができないため、誘導を行う補助者を必要とするため、作業の効率化、作業者の安全確保が十分に果たせないおそれもある。

(3)出来形を検査する場合、測点での情報しかなく、測点間の情報は全く得られず、施工区間が長い場合には計測に多大な時間を要する上、計測箇所以外での出来形不良をカバーできないおそれもある。

(4)上述した解析システムによる解析結果は2次元ない

し3次元表示等を用いた各種出力形式で出力され、さらに現場ではその解析結果に基づいた具体的な施工計画をたてる必要があった。

【0010】しかし、それらの利用形態をさらに進めて、たとえば逆解析では解析結果により、周辺地山のひずみ分布や支保部材の応力を精度良く予測できるが、ある位置（領域）で得られた解析結果が所定管理値より大きな解析値が生じた場合、その位置で適正なロックボルトの長さ、耐力の妥当性が現場位置で視覚的に判断できることが望まれる。また、内空変位が実際の現場で視覚的に確認できれば、所定の内空を確保できないことが直観的に把握できる。具体的に仮想立体映像を利用することができれば、各解析において次のような利点がある。

【0011】3次元地質分析システムによる分析結果は、3次元座標データとして蓄積されるため、ARシステム上に表示することが比較的容易であり、分析結果を実画像に重畳して表示することによって、その場で効果的に切羽前方地質を視覚的に把握でき、見えない次段階の掘削等に対する施工安全性を確認できる。

【0012】さらにファジーエキスパートシステムによって選定された対策工を実際の現場での実画像に重畳して表示させることで、より容易に対策工の効果を確認することができる。逆にこれまでのデータベースを基に比較することで不適切な対策工による欠陥等も事前に知ることができ、若手技術者等による対策工の選択ミス等が激減する。

【0013】上述したキープロック解析では、地山内に想定され、実際には確認することができないキープロックの形状や規模を、実際の地山に重畳して視覚的に確認できるとともに、崩落防止のための補強工の配置、方向、規模等の判断を容易に行うことができる。

【0014】そこで、本発明の目的は上述した従来の技術が有する問題点を解消し、CGにより作成された仮想立体映像情報を、作業者がSTHMDを介して見ている現実空間内にはめ込むようにして現実空間内で作業者が行う各種の作業に有用な解析結果情報、施工管理情報等を与え、作業の効率化、施工精度、安全性の向上を図ることにある。

【0015】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明は、作業者の視点位置を得る視点位置検出手段と、作業者の視点姿勢を得る視点姿勢検出手段と、装着したゴーグルを介して観察対象となる外界の現実空間を視野内に捉えるために、前記外界からの入射光を透過する一方、装備された表示素子に表示された映像情報が、内蔵光学系を介して投影される半透過面を有する映像表示手段と、前記観察対象となる現実空間に施工される構造物の形状を3次元形状データから生成した描画オブジェクトを、作業工程に対応したインデックスを付与して蓄積した施工支援情報データベース蓄積部と、前記

視点位置検出手段と視点姿勢検出手段とから求められた前記作業者の位置情報及び前記作業者の移動に伴って変化した位置情報に基づいて、前記観察対象となる現実空間の既定座標に前記描画オブジェクトを重畳させるために逐次前記描画オブジェクトを再構築する描画オブジェクト再構築部と、前記再構築された描画オブジェクトの画像データを前記映像表示手段に搭載された表示素子に表示可能な映像情報信号に変換する映像信号変換部と、前記映像表示手段に装備された映像信号受信部に前記映像情報信号を転送する映像信号転送部とから構成されたことを特徴とする。

【0016】作業者の視点位置を得る視点位置検出手段と、作業者の視点姿勢を得る視点姿勢検出手段と、装着したゴーグルを介して観察対象となる外界の現実空間を視野内に捉えるために、前記外界からの入射光を透過する一方、装備された表示素子に表示された映像情報が、内蔵光学系を介して投影される半透過面を有する映像表示手段と、現場で収集され所定の通信手段で送信された計測データを入力値として用いて解析を行う解析部と、該解析部から返送された解析結果を加工し、前記視野内に投影可能な情報表示データとして生成された描画オブジェクトを蓄積した施工支援情報データベース蓄積部と、前記視点位置検出手段と視点姿勢検出手段とから求められた前記作業者の位置情報及び前記作業者の移動に伴って変化した位置情報に基づいて、前記観察対象となる現実空間の既定座標に前記描画オブジェクトを重畳させるために逐次前記描画オブジェクトを再構築する描画オブジェクト再構築部と、前記再構築された描画オブジェクトの画像データを前記映像表示手段に搭載された表示素子に表示可能な映像情報信号に変換する映像信号変換部と、前記映像表示手段に装備された映像信号受信部に前記映像情報信号を転送する映像信号転送部とから構成されたことを特徴とする。

【0017】前記施工支援情報データベース蓄積部は、前記描画オブジェクトが、所定のメニューに対応したインデックスを付与して蓄積され、前記作業者が手元の映像切替手段の操作により前記インデックスを選択して前記映像表示手段に投影される映像情報を変更することが好ましい。

【0018】上記解析部は、逆解析システムであること、あるいは3次元地質分析システムであり、該システムの断面データを連続した画像データとして生成し、前記施工支援情報データベースに蓄積させたようにすること、または対策工選定ファジーエキスパートシステムであり、該システムに蓄積された所定の対策工情報が選択された段階で、画像データとして生成されるようにすること、さらにキープロック解析システムであり、該システムで求められたキープロックの形状及び／または規模が、画像データとして生成されるようにすることが好ましい。

【0019】

【発明の実施の形態】以下、本発明の仮想現実感を利用した施工支援情報システムの一実施の形態について、添付図面を参照して説明する。図1は、本発明の施工支援情報システムの一例を示したシステム構成図である。図1に示したように、たとえばトンネル内で施工機械を操作する作業員（オペレータ）は所定の安全装備以外に、立体映像による仮想現実感を体感するためにSTHMDを装着している。このSTHMDは、公知の光学的シースルー方式によって映像を投影可能なゴーグルタイプのディスプレイで、作業員Wの顔部に直接装着して使用する。

【0020】STHMD10は外界からの入射光を透過を調整可能な液晶シャッター（図示せず）を備えたゴーグル11部分と、ゴーグル11内に收容されたハーフミラー（図示せず）に映像を投影可能な映像表示装置12とを備えている。映像表示装置12の表示素子としてはTFT液晶パネルが用いられている。この液晶パネルに表示された映像はゴーグル11側部に收容された複数枚のリレーレンズとミラーとで構成された光学系（図示せず）を介してハーフミラーに投影される。

【0021】さらに図3に示したように、作業員Wがかぶった安全帽の一部には視点位置検出手段としての反射プリズム21が装着されている。この反射プリズム21は背後の所定位置に据え付けられたトータルステーション22から発射されたレーザー光を反射する。反射光はトータルステーション22側で再度受光されるので、作業員Wの頭頂部位置E0の位置が把握できる。また、トータルステーション22には自動追尾機能が備えられているので、移動する作業員Wの頭頂部位置E0を逐次把握し続けることができる。なお、作業員Wの頭頂部位置E0と視点位置E1（左右の瞳孔間中央位置）との位置補正も逐次行われているため、作業員Wの位置情報は視点位置E1として取り扱われる。なお、この視点位置E1は、後述する立体映像作成のために作業員に固有の左右の瞳孔位置（EL、ER）に換算されて取り扱われるが、以下では、説明の簡単化のために視点位置E1で代表して述べる。

【0022】たとえばトンネル等の構造物では坑口の絶対座標が求められているので、坑口からの距離程を利用してトータルステーション22位置が設定できる。さらにトータルステーション22からの測距により作業員Wの視点位置E1を求めることができる。これに対して屋外工事においては、人工衛星Sを利用したDGPS（ディファレンシャル方式GPS）によるモニタリング機能によって作業員Wの視点位置E1を絶対座標で検出することができる。

【0023】STHMD10を装着した状態での作業員Wの視点姿勢E2を検出する視点姿勢検出手段として、作業員Wの安全帽にはジャイロセンサー23が取り付け

られている。本実施の形態で用いられているジャイロセンサー23は3軸のセンサーからなり、このセンサー出力によりセンサー中心に対しての姿勢（角度）データを獲得することができる。ジャイロセンサー23に代えてサーボ加速度計等を装着することによっても、視点姿勢E2を検出することが可能である。さらにソフトウェアを利用することにより、検知された作業員Wの瞳孔の動きから視点姿勢E2及び視点位置E1を追跡するようにしても良い。このようなデータを利用して作業員Wの視点位置E1、視点姿勢E2をデータとして獲得する。このデータは後に作業員Wの装着しているSTHMD10に表示される仮想立体映像の描画オブジェクトの更新のための情報として用いられる。

【0024】ここで、作業員Wの頭頂部に装着されたジャイロセンサー23、反射プリズム21を用いて視点姿勢E2、視点位置E1を得るデータ処理について説明する。作業員Wの頭部に装着されたジャイロセンサー23からは作業員Wの頭（顔）が向いている方向がジャイロセンサー23の中心位置を原点としたXYZ軸周りの単位ベクトルE2（ $\theta_x, \theta_y, \theta_z$ ）として検出される。この単位ベクトルE2をもととして視点姿勢E2が得られる。一方、後方の既知測点A（X,Y,Z）に据え付けられたトータルステーション22から発射されたレーザー光を再びトータルステーション22側で受光して得た反射光情報から反射プリズム21の位置、すなわち作業員Wの頭頂部位置の座標E0（X0,Y0,Z0）が得られる。このさらに作業員の左右眼の瞳孔間中心位置である視点位置E1（X1,Y1,Z1）に補正される。このようにして、作業員Wが各種の作業に伴って場所を変えた場合にもトータルステーション22の自動追尾機能により逐次その位置情報（視点位置E1）を検出することができる。このとき作業員Wが視認している現実空間の位置座標は、あらかじめ測量によって既定座標として確定されていたため、作業員Wの視線方向、距離と視認対象である現実空間とが一意に対応つけられて決定される。これにより作業員Wが見ている現実空間と完全に重ね合わされた仮想立体映像を作業員Wが装着しているSTHMD10に映し出すことができる。

【0025】次に、現実空間に重畳して表示される仮想立体映像を構築するために用いられる各種の施工のための施工支援情報データベースについて説明する。施工支援情報データベースは、仮想現実感を利用して施工支援を行う対象となる各種の仮設、本設構造物等の3次元の立体形状を、実際の設計図面等に基づいて所定の縮尺で作成した3次元形状の基本形状データ30をもとに視点情報としてその形状、消失点を適宜変更した形状として描画可能な描画オブジェクトとして生成され、図1に示した施工支援情報データベース蓄積部32に蓄積されている。

【0026】基本形状データ30はワークステーション

(WS)あるいはパーソナルコンピュータ(PC)上で稼働する3次元CADソフトウェア上で作成され、DXFファイル形式で保存されている。そして仮想立体映像構築ソフトで取り扱い可能なデータ形式に変換された描画オブジェクトとして施工支援情報データベース蓄積部32に蓄積される。施工支援情報データベース蓄積部32からは、実際の現場付近にいる作業員Wが携帯する画像切替コントローラ31(図1参照)の操作によって、付与されているインデックスをもとに対応した施工支援情報データとしての描画オブジェクトが適宜取り出され、表示できるようになっている。表-1は、本実施の

形態における施工支援情報データベース蓄積部32の一部を示した一覧表である。同表に示したように、施工支援情報データベース蓄積部32では各施工支援情報データとしての描画オブジェクトは、それぞれ工種、必要施工支援情報で区分されたマトリクスに対応させたテーブル形式で蓄積されている。このため、工種が異なる場合にも共通する施工支援情報は、施工支援情報データベース蓄積部32から繰り返し取り出されるようになっている。

【0027】

【表1】

表-1 施工支援情報データベース蓄積部 施工情報データ一覧表(抜粋)

	トンネル工事						法面保護工			開削工事
	発破工	支保工組み込み	ロックボルト工	吹付コンクリート	型枠工	二次覆工	切土工	盛土工	植生工	
地質情報	○	○	○				○	○	○	○
原位置情報	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
出来形イメージ				○	○	○	○	○	○	○
解析情報				○			○	○		○
計測情報			○	○			○	○		○
耐孔情報							○	○		○
位置	○		○				△			△
ノミ方向	○		○				△			△
深さ	○		○				△			△
支保情報										
種類		○	○	○			△			○
サイズ		○	○	○			△			○
間隔		○	○	○			△			○
長さ				○		○	△			○

【0028】同表に示したように、一例としてトンネル建設工事、法面保護工、開削工事等における各施工段階で必要とされる多種の施工支援情報が細かい工種に対応したインデックスに対応して得られるようになっている。また、各施工支援情報には必須データ、オプションデータとしてのレベル付け(○、△で表示)がされており、作業員が状況に応じて必要とする描画オブジェクトを適宜選択することもできる。

【0029】この施工支援情報データベース蓄積部32に蓄積される描画オブジェクトのもととなる基本形状データ30が、たとえばトンネル建設工事におけるロックボルト工のロックボルトの描画オブジェクトの生成情報であれば、直径、長さ、ロックボルトの打設方向、打設位置等のデータから構成される。また2次覆工のための配筋データ等における異形鉄筋の各種情報も同様な線材の情報として与えられる。鉄筋のような線材データは表示において適当な簡略化を行っても映像においてリアル感が損なわれないが、覆工コンクリートのように面形状で構成される立体データにおいては、骨格となるフレームデータに、質感を考慮した適当なテクスチャ要素の貼り付けを行った描画オブジェクトとして生成される。

【0030】ところで、作業員Wの位置情報(視点位置E1、視点姿勢E2)を視点パラメータとして描画オブジェクトを生成する際、実際に作業員WがSTHMD10を通じて見ている現実空間の広がりや描画オブジェクトの表示スケール、消失点、立体視のための整合は厳密にはとられていない。そこで、この描画オブジェクトを現実空間内でのリアルな立体画像として生成するために、

映像切替コントローラ31を介して位置情報(E1、E2)の初期化、微調整、表示スケールの調整、各作業員固有の身体情報(頭頂部E0と視点位置E1とのずれ、瞳孔間距離)による画像調整が行えるようになっている。これらの調整を行いながら、描画オブジェクト再構築部34で作業員Wの視点の移動に追従して変化する視点パラメータをもとに描画オブジェクトの立体形状等を変化させる。

【0031】さらにこの描画オブジェクトは仮想立体映像として映像データ変換部40、映像信号転送部としてのHMDコントローラ43から作業員WのSTHMD10に搭載されている映像信号受信部15を介して映像表示装置12としての表示素子(図示せず)に表示される。

【0032】ここで、図2を参照してノートPC31内で構築された描画オブジェクトを立体映像に変換するための映像データ変換部40の構成について説明する。作業員Wが携帯するノートPC31のディスプレイは図2に模式的に示したように、4個の分割画面で構成されている。これら4個の分割画面のうち、上部画面には描画オブジェクトをSTHMD10で立体視するために、描画オブジェクトが作業員Wの左右の目で別々に見たときの視距、光路長差を考慮した左目、右目用の画像として生成して表示されている(以下、左目用画像をL画像、右目用画像をR画像と記す。)他の分割画面には作業員Wの位置情報(視点位置E1、視点姿勢E2)が上述した検出手段により作業員Wの動きに追従して逐次変化する数値情報として出力されている。

【0033】上述のL画像、R画像を構成する描画オブジェクトは、この数値情報としての視点位置E1、視点姿勢E2をもとに高速レンダリングされ、最新の画像データに更新される。そして、この画像データ（L画像、R画像）はアナログRGB信号としてノートPC31から出力され、さらに図2に示したスキャンコンバータによってNTSC信号に変換され、HMDコントローラ43に出力される。

【0034】図2に示したように、上述のアナログRGB信号は映像データ変換部40としてのスキャンコンバータでR画像データ及びL画像データの左右の2つの画像データに分離され、この画像データを交互にSTHMDに出力することにより立体映像信号を得ることができる。ここで、ノートPC31上に逐次蓄えられている前述した作業者Wの位置情報（視点位置E1、視点姿勢E2）を考慮した描画オブジェクトから右目用の立体映像と左目用の立体映像を生成する手順について簡単に説明する。まず、仮想立体映像構築ソフトによってノートPC31の画面上に表示されたR画像とL画像に対して作業者Wの位置情報が視点パラメータとして与えられる。そして与えられた視点パラメータに対応してそれぞれの画像において所定インターバルで高速レンダリングが行われる。そして、再構築により更新された最新の画像データは映像データ変換部40の第1のスキャンコンバータ41に入力され、第1のスキャンコンバータ41で右目用のR画像データが取り出される。さらに第2のスキャンコンバータ42に出力信号がスルーアウトされ、次いで左目用のL画像データが取り出される。このR画像データとL画像データとは外部同期を取りながら、高速にスイッチングされて映像信号転送部としてのHMDコントローラ43に出力される。このとき画像信号はNTSC準拠信号に変換されている。このHMDコントローラ43を介して作業者Wが装着しているSTHMD10の映像信号受信部15に立体画像信号が送出され、STHMD10内の表示素子に仮想立体映像が表示される。このときHMDコントローラ43から作業者WのSTHMD10までのデータ伝送は無線または有線のいずれも可能である。

【0035】次に、図1、図3に示した作業者の本システムの利用環境について簡単に説明する。まず、作業者Wは作業対象となる位置近くでSTHMD10を装着する。このSTHMD10には付帯装置として作業者Wの視点の3次元の回転が計測できるジャイロセンサー23が装着されている。また、本実施の形態では作業者Wのかぶる安全帽の頂部に反射プリズム21が装着されている。この反射プリズム21に対して作業位置の後方の既知座標点に設定されたトータルステーション22等によりレーザー測距を逐次行うことにより、作業者Wの視点位置は自動追尾され、これにより作業者Wの位置情報が絶対座標で得られる。なお、屋外の場合は、DGPSに

より直接、作業者Wの絶対座標を求めることができる。

【0036】作業者Wは映像切替コントローラ31を操作して施工支援情報データベースのインデックスメニューによってこれからの作業に必要な施工支援情報を施工支援情報データベース蓄積部32内から選択する。このとき選択された施工支援情報の描画オブジェクトは、作業者Wの位置情報を視点とした最新の形状として再構築されて作業者WのSTHMD10の表示素子に転送される。表示映像はさらに内蔵光学系を介してあたかも作業者Wが観察している現実空間内に存在するかのようにSTHMD10の視野内のハーフミラーに映し出される。映し出された仮想立体映像は作業者Wがこれから行う作業の完成形状であったり、作業をガイドする指標であったりする。このため作業者Wは手元の図面等の値を現場においてスケールアウトしたりすることなく、映し出された映像に従って直接、各作業を進めることができる。このとき作業者Wが移動したり、頭を動かした場合、その位置情報は逐次PC31に送られ、描画オブジェクトの形状や消失点の更新がなされる。これにより、移動後の作業者Wの視点情報に合わせて常に作業者Wは自分が見ている方向の現実空間内に仮想物体を現実空間上に重ね合わせることができ、作業者Wの連続した作業を確実にフォローしていくことができる。

【0037】次に、このシステムを用いた実施例としてトンネル工事における各工程での作業を行う場合の適用例について説明する。図4(a)は発破工法によるトンネル掘削時の切羽の発破孔の削孔に利用される仮想現実感を模式的に示した模式縦断面図である。同図には、説明のために削孔予定の発破孔が仮想線で表示されている。一方、図4(b)は、作業者Wが実際に見ている切羽1を含む現実空間と、作業者Wが装着したSTHMD10のハーフミラーに投影された削孔予定の発破孔2の仮想映像とがその位置、方向が重畳された状態で映し出されている。作業者Wは現実空間の切羽面に映し出された仮想立体画像としての発破孔2位置および必要な削孔ロッド3の差し角に合わせてロックボルトジャンボ4に搭載された削岩機の削孔ロッド5の先端を3次元的に映し出された発破孔2の延長上に移動させ、削孔作業を行うことができる。このとき仮想立体画像には切羽奥の地盤内での地盤状況も合わせて映し出されている。このため、切羽1で観察困難な弱部1aでの発破作業を慎重に行うようにすることもできる。このように作業者Wが観察している実際の切羽1に削孔予定の発破孔2が3次元的に表示されるため、従来のように切羽にレーザーポインター等で削孔点を投影したり、スプレー等でマーキングした場合に対して、勘に頼らずに削孔ロッドの差し角等を正確に決定することができる。このため、トンネルの余掘りが大幅に減少する。また、削岩機の位置決めが迅速に行えるため全体の作業工程が短縮されるという利点もある。

【0038】図5(a)は掘削に伴い、切羽後方で支保工を建て込む場合に利用される仮想現実感について説明した縦断面図である。作業員Wが支保工の組立位置からトンネルの切羽1側を観察したときに、作業員WのSTHMD10を通して見た視野内には、図5(b)に示したように所定サイズの鋼製支保工6が奥行き方向に所定のピッチで建て込まれた仮想立体映像が映し出されている。従って、この仮想立体映像中の支保工位置に重ね合わせるように実際の支保工7を移動させ、支保工7を正確な位置に容易かつ迅速に建て込んで設置することができる。

【0039】図6(a)は覆工コンクリート工事までの工程が完了し、2次覆工の出来形検査を行う検査員がトンネル内を移動している状態を示した縦断面図である。図6(a)に示した完成状態において、正確な寸法形状に設定された2次覆工コンクリート8の仮想立体映像を現実の覆工コンクリート9と重畳させて観察すると、実際に打設された覆工コンクリート9とあらかじめ設計上設定されていた覆工コンクリート8との形状や覆工厚の施工誤差を確認することができる。このとき仮想立体映像の覆工形状と現実の覆工との重なり部分8aを比較することにより、この正規の設計覆工断面に対して過大厚となった部分、過小厚となった部分、トンネル軸線とのずれ等を直観して確認でき、出来形精度を迅速に確認することができる。また、この方法による出来形検査では、従来所定の距離程ごとにしか行っていなかった出来形検査をトンネル縦断方向に歩きながら全長にわたって実施することができるようになるという効果がある。

【0040】次に、現場の計測データを収集し、その計測データをもとにして解析した結果を所定の仮想立体映像として生成し、この仮想立体映像を現場作業員WのSTHMDを介して実際に見える視野内の映像に重ねて表示し、現場位置での迅速な安全確認や地質構造推定等を行えるようにした実施の形態について図7を参照して説明する。

【0041】本システムでは、図7のシステム構成図に示したように、前述した各種の解析を行うために種々の計測データを収集し、そのデータを加工して入力データとして解析部50で行った解析結果を、施工支援情報データベース32及び描画オブジェクト再構築部34に取り込み、所定の仮想立体映像として生成するようになっている。

【0042】以下、前述の施工例と同様に、トンネル建設工事を例に説明する。トンネル現場で収集される計測データとして代表的なものに以下がある。

(1)所定計測断面ごとに収集されるデータ

- ・内空変位量、天端沈下量、岩盤内の地中変位量、応力変化量、支保部材（H形鋼、吹付けコンクリート、ロックボルト、ロックアンカー）のひずみ、応力、軸力
- ・支保工の変状状況（H形鋼、ロックボルト、吹付けコ

ンクリート)

(2)切羽面で収集されるデータ

- ・切羽観察記録（切羽の画像、岩質、風化変質程度、亀裂の頻度・形態、湧水状況など）

- ・岩盤の亀裂の走向・傾斜情報

これらのうち、長さデータは各種測距儀、精密写真測量、スチールテープ等により測定され、その他のデータはそれぞれ地中変位計、各種歪み計、応力計等の計測機器を用いた計測が行われ、データログの入力装置を利用して一定のフォーマットのデータとして記録媒体に収集される。

【0043】さらにこれらの収集された各データは、公知の通信プロトコルに基づいて現場に近い事務所等のPC等のデータ処理部に連続ないし所定タイミングで送信される。このデータ処理部（プリプロセッサ部）において、計測データは対象となる解析システムの入力データあるいはデータベースの蓄積項目としてのデータフォーマットに加工される。また前述した精密写真測量において収集されたデジタル画像は所定の方法で画像処理を行うことで写真座標を取得することができる。この写真座標を仮想立体画像の基礎データとして有効である。

【0044】特に、前述した「3次元地質分析システム」では図8に示したようにトンネル縦断方向に関して複数の断面データから連続した平面図、側面図が得られるが、さらに、これらの地質構造を、本発明の仮想立体映像として生成して実際の視野に重ね合わせることができる。これにより、切羽では平面的にしか確認できない破碎帯、断層等の規模、走向傾斜等を図9(a)、

(b)に示したように、視認方向A、B（図8参照）のそれぞれの方向において、作業員Wはトンネル切羽より奥方の地質の変化を含めて立体的に把握することができる。これにより、切羽の進行に伴って適用される各種の補助工法の適切な選定に活用することができる。

【0045】また、本実施の形態の逆解析システムでは、現場事務所に設置されたPCにインストール可能な程度の容量のシステムを想定している。このPC上の逆解析システムの入力データとして内空変位計測データを加工したものをを用いている。通常、この種の逆解析システムでは対象断面の解析モデルをあらかじめ作成しておき、この解析モデルに計測データを入力し、解析を行う。この解析により周辺地山（岩盤）弾性係数、初期地圧、ポアソン比を同定して、この同定物性値を用いて次段階の掘削に伴う地山や支保部材の変位・応力予測が行える。したがって、トンネル天端、側壁の変位を仮想立体映像として生成し、実際の視野上に重ね合わせることにより、ビジュアルにトンネル内空変位を確認することができる。

【0046】逆解析結果を用いた予測解析は、周辺地山のひずみ分布や支保部材の応力も精度良く予測できる。これらのひずみ分布や支保部材の応力分布と、所定の計

測管理基準値（ひずみや応力度など）と比較し、計測管理基準値を超えた値が生じた領域等を映像として実現場の映像と重ね合わせることができる。図10は仮想立体映像として地山内に仮想の設計ロックボルトBを映し出し、そのときボルトBの支保作用が効いた状態でのトンネル地山側での支保部材の応力分布がコンター形状Cで模式表示されている。これにより、作業員Wは地山のどの部分が実際に許容値内にあるかどうか等を視覚的に判断することができる。

【0047】また、対策工選定ファジーエキスパートシステムでは、現場から得られた地質、各種計測データ、切羽画像データや切羽観察記録をデータベース内の蓄積データと照合して必要に応じて適切な対策工を選定することができる。選定された対策工は、推奨された規模、範囲を実現場の座標、形状データに合わせて仮想空間映像として再構築させ、作業員が視認した現場の景色と重ね合わせることができ、視覚的にその対策工の規模等を確認できるとともに、施工時のガイドとして施工の迅速化、精度向上を図ることができる。

【0048】さらに、キーブロック解析の結果、潜在的に滑り出す危険性をもっている岩石ブロック（キーブロック）の位置、規模が確認された場合でも、キーブロックは地盤内に存在しているため実際には見ることができない。そこでその位置、規模を仮想立体映像として再構築し、作業員の視認している範囲にその映像を重ね合わせてやることで、実施工では、きわめて特定しにくいキーブロックの位置や補強工の方向などが容易に判断することが可能になる。特に、ドーム状（半球状）空洞などの場合には通常のトンネルとは異なり、掘削の方向が常に変化するため、キーブロック位置が特定しにくい。このような場合にその効果は一層大きい。

【0049】これらの逆解析、キーブロック解析の結果は従来、2次元ないし3次元出力結果として図化していた。本発明では、これらの解析結果データに作業員の視点座標データを盛り込み、仮想立体画像として生成している。これらの画像データはたとえば必要に応じて座標変換プログラムでDXFファイル等の画像ファイルに変換する。そして作業員の視点座標を取り込んだオブジェクトとして生成し、STHMDにシースルー表示させ、作業員の視野内に情報を重ね合わせる。

【0050】表示映像は通常、3次元データとして立体的に表示されるが、所定地山断面での内空変位、歪み等はデータの簡略化を図り、2次元表示することで見やすくしてもよい。なお、3次元的地質構造の表示に関しては、作業員が切羽を見た視野内の切羽前方だけでなく、トンネル全線にわたる表示も可能である。さらにファジーエキスパートシステムで選定された各種補助工法、たとえば増しボルト、増し吹付けコンクリート、鏡吹付けコンクリート、先受け工等は選定部材データ、施工ピッチ、施工範囲等を考慮した仮想映像を生成するよ

うにし、現状地盤に補助工法を付加した状態を視覚的に確認することができる。

【0051】以上の説明では、トンネル工事を例に挙げ、各工程において本発明のシステムを適用した施工例について説明したが、この他対象となる工事としては狭い場所での複雑な空間設定を行うものや、土工事における切土、盛土等の形状等を確認したり、また掘削仮設工事においてその掘削状態や支保工の組立情報等を与えることにより山留め工事を迅速に行うことも可能である。

【0052】

【発明の効果】以上に述べたように、建設工事において現実空間に重ね合わせて映し出された仮想立体映像を利用して、対象とする現場に即した計測データの解析結果情報、施工管理情報等を提供し、施工の迅速化、合理化、安全性の向上という効果を奏する。

【0053】また、1次元線情報あるいは2次元面情報であった計測データ及び解析結果を、本発明において3次元化し、さらに作業員の視覚情報を重ね合わせた立体映像として可視化することによって、補強工法の範囲や縫返し区間等を具体的に判定しやすくなるという効果も期待できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による仮想現実感を利用した施工支援情報システムの一実施の形態を示した概略システム構成図。

【図2】本発明の施工支援情報システムのうち、映像データ変換部の一実施の形態を示した概略システム構成図。

【図3】作業員の位置情報を得るためのシステム構成の一実施の形態を示した模式説明図。

【図4】本システムをトンネル建設工事における発破孔削孔作業に適用した実施の形態を示した模式状態図。

【図5】本システムをトンネル建設工事における支保工建て込み作業に適用した実施の形態を示した模式状態図。

【図6】本システムをトンネル建設工事における覆工出来形検査に適用した実施の形態を示した模式状態図。

【図7】本発明による仮想現実感を利用した施工支援情報システムの他の実施の形態を示した概略システム構成図。

【図8】3次元地質分析システムの解析結果例を示した模式説明図。

【図9】図8に示したデータをトンネル建設工事における切羽観察データとして適用した実施の形態を示した模式状態図。

【図10】設計ロックボルトによる地山内応力分布状態を示した模式状態図。

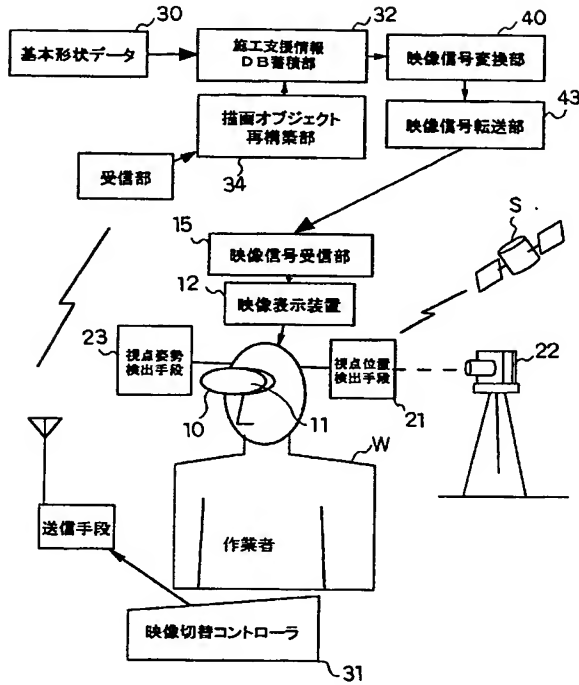
【符号の説明】

10 シースルーヘッドマウンテッドディスプレイ（STHMD）

17

- 11 ゴーグル
- 12 映像表示装置
- 15 映像信号受信部
- 21 視点位置検出手段
- 23 視点姿勢検出手段
- 31 映像切替コントローラ

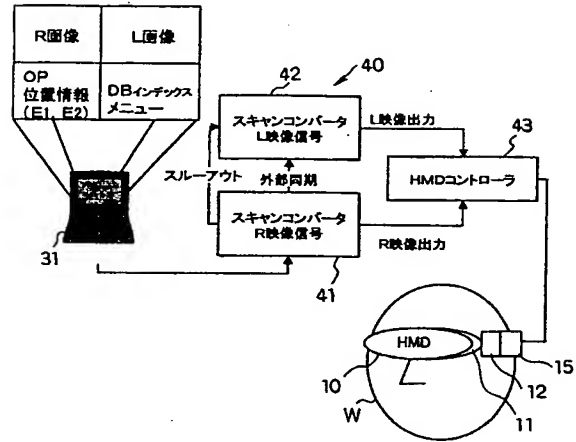
【図1】



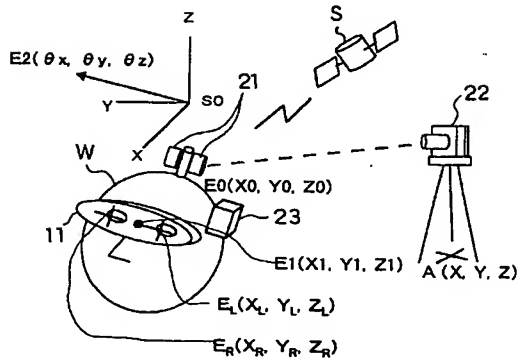
18

- 32 施工支援情報データベース蓄積部
- 33 画像データ変換部
- 40 映像データ変換部
- 43 映像信号転送部
- 50 解析部

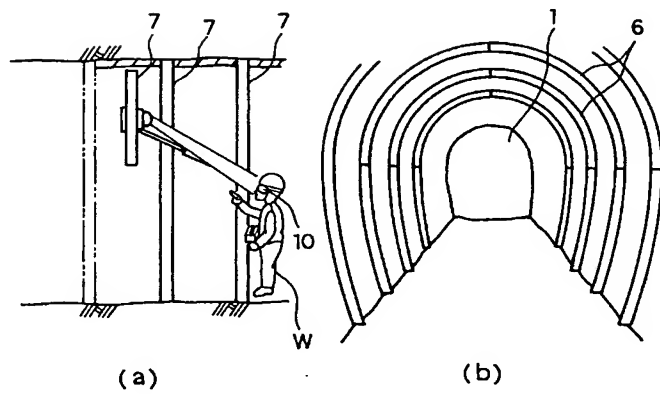
【図2】



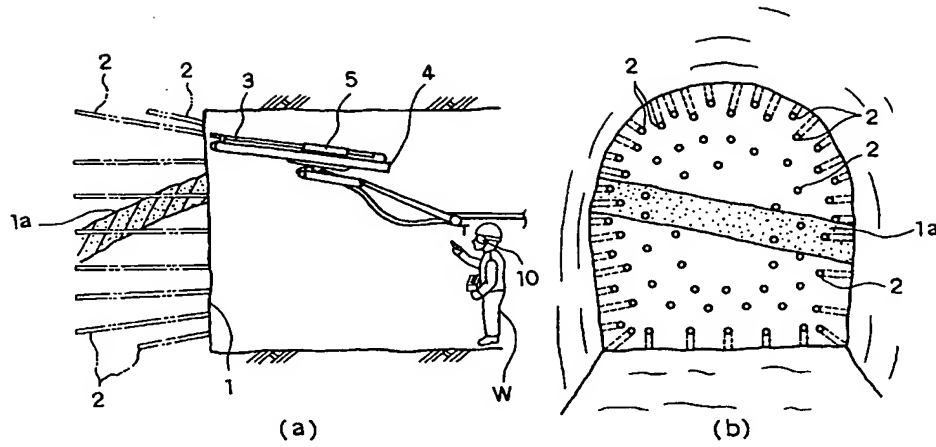
【図3】



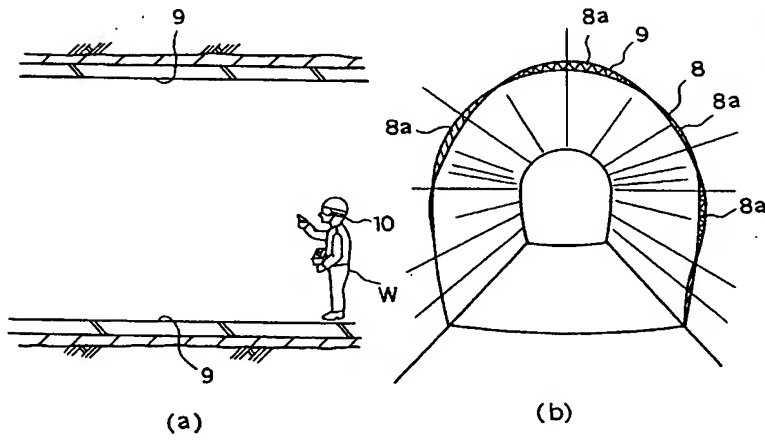
【図5】



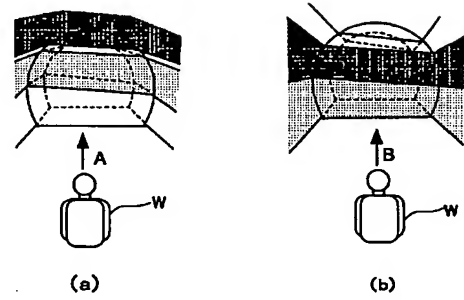
【図4】



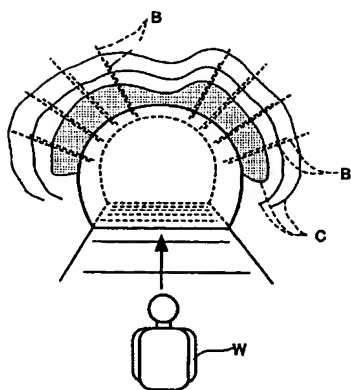
【図6】



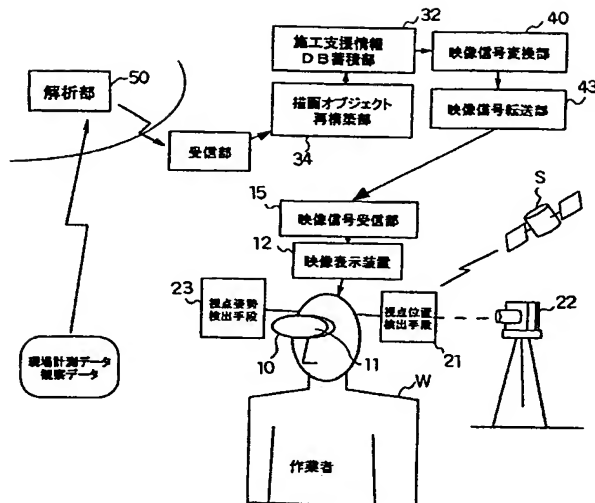
【図9】



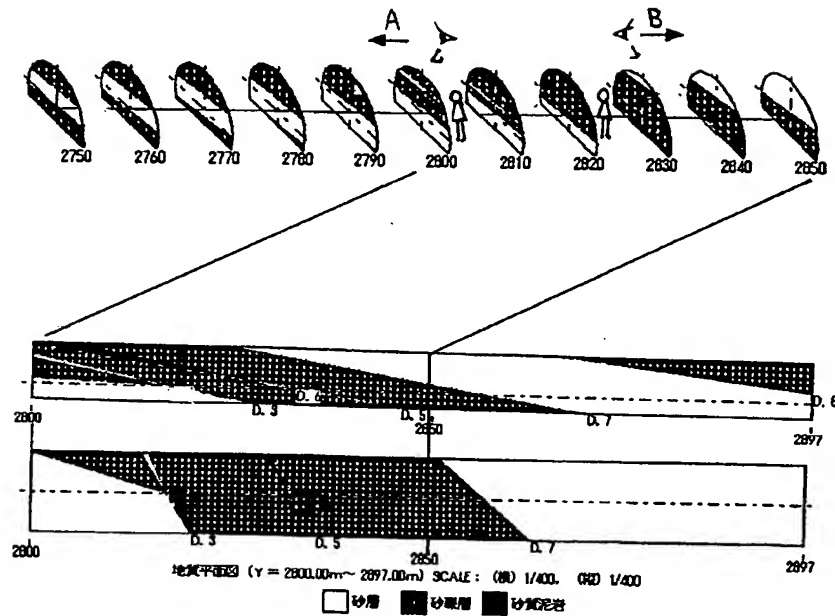
【図10】



【図7】



【図8】



フロントページの続き

(72)発明者 中原 博隆
東京都千代田区三番町2番地 飛島建設株式
会社社内

(72)発明者 松元 和伸
東京都千代田区三番町2番地 飛島建設株式
会社社内

(72)発明者 筒井 雅行
東京都千代田区三番町2番地 飛島建設株
式会社内

THIS PAGE BLANK (USPTO)

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-155855

(43)Date of publication of application : 06.06.2000

(51)Int.Cl.

G06T 15/00
 G06F 3/033
 G06F 17/60
 G06F 17/50
 // E21D 9/00

(21)Application number : 11-183168

(71)Applicant : TOBISHIMA CORP

(22)Date of filing : 29.06.1999

(72)Inventor : CHIKAHISA HIROSHI
 KOBAYASHI KAORU
 NAKAHARA HIROTAKA
 MATSUMOTO KAZUNOBU
 TSUTSUI MASAYUKI

(30)Priority

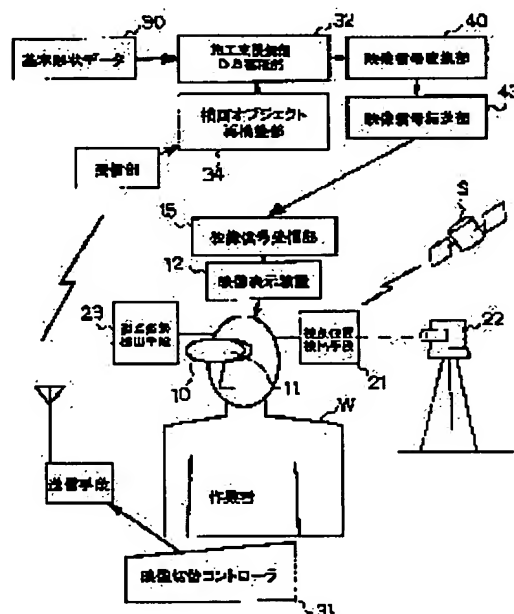
Priority number : 10199617 Priority date : 30.06.1998 Priority country : JP

(54) OPERATION SUPPORT INFORMATION SYSTEM USING SENSE OF VIRTUAL REALITY

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To attain the feedback of analytic information and the safety, efficiency, and high precision of a work by using a sense of virtual reality for operation support in a construction work.

SOLUTION: This system is constituted of a reflection prism 21 for obtaining the view point position of a worker W, a gyro sensor 23 for obtaining a view point attitude, a see-through head mounted display 10 on which video information displayed on a display element 12 through a mounted goggle 11 is projected through an incorporated optical system, an operation support information data base storage part 32 for storing plotted objects, a plotted object reconstructing part 34 for successively reconstructing plotted objects for superimposing the plotted object on already decided coordinates in a real space to be observed based on the obtained position information of the worker W, a video signal converting part 40 for converting the image data of the reconstructed plotted object into a video information signal which can be displayed on the display element 12, and a video signal transferring part 43 for transferring the video information signal to a video signal receiving part 15. Then, a stereoscopic video is projected.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

22.02.2002

THIS PAGE BLANK (USPTO)

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

THIS PAGE BLANK (USPTO)

[Claim(s)]

[Claim 1] In order to catch the actual space of a view location detection means to obtain an operator's view location, a view position detection means to acquire an operator's view position, and the external world that serves as an object for observation through the goggles with which it is equipped in a visual field. A graphic display means by which the image information displayed on the equipped display device while penetrating the incident light from said external world has the transmissive side projected through built-in optical system. The construction support information database is a recording section which accumulated the drawing object which generated the configuration of the structure constructed in the actual space used as said object for observation from three-dimension configuration data. It is based on the positional information which changed with the positional information of said operator called for from said view location detection means and the view position detection means, and migration of said operator. The drawing object reconstruction section which reconstructs said drawing object serially in order to make said drawing object superimpose on the fixed coordinate of the actual space used as said object for observation. The video-signal converter changed into the image information signal which can display the image data of said reconstructed drawing object on the display device in which it was carried by said graphic display means. The construction support information system using the virtual reality characterized by consisting of the video-signal transfer sections which transmit said image information signal to the video-signal receive section with which said graphic display means was equipped.

[Claim 2] In order to catch the actual space of a view location detection means to obtain an operator's view location, a view position detection means to acquire an operator's view position, and the external world that serves as an object for observation through the goggles with which it is equipped in a visual field. A graphic display means by which the image information displayed on the equipped display device while penetrating the incident light from said external world has the transmissive side projected through built-in optical system. The analysis section which analyzes using the measurement data which were collected on the spot and transmitted by predetermined means of communications as an input value. The construction support information database is a recording section which accumulated the drawing object which processed the analysis result returned from this analysis section, and was generated as information-display data which can be projected into said visual field. It is based on the positional information which changed with the positional information of said operator called for from said view location detection means and the view position detection means, and migration of said operator. The drawing object reconstruction section which reconstructs said drawing object serially in order to make said drawing object superimpose on the fixed coordinate of the actual space used as said object for observation. The video-signal converter changed into the image information signal which can

THIS PAGE BLANK (USPTO)

display the image data of said reconstructed drawing object on the display device in which it was carried by said graphic display means, The construction support information system using the virtual reality characterized by consisting of the video-signal transfer sections which transmit said image information signal to the video-signal receive section with which said graphic display means was equipped.

[Claim 3] Said construction support information database are recording section is a construction support information system using the virtual reality according to claim 1 or 2 characterized by changing the image information which said drawing object gives the index corresponding to a predetermined menu, and is accumulated, and said operator chooses said index by actuation of an image change means at hand, and is projected on said graphic display means.

[Claim 4] Said analysis section is a construction support information system using the virtual reality according to claim 2 characterized by being a reverse analysis system.

[Claim 5] Said analysis section is the construction support information system which is a three-dimension geology analysis system and used the virtual reality according to claim 2 characterized by having generated the cross-section data of this system as continuous image data, and storing them up in said construction support information database.

[Claim 6] Said analysis section is a construction support information system using the virtual reality according to claim 2 which is a cure ***** expert system, is the phase where predetermined cure ***** accumulated in this system was chosen, and is characterized by making it generated as image data.

[Claim 7] Said analysis section is the construction support information system which is a key block analysis system and used the virtual reality according to claim 2 to which the configuration and/or magnitude of a key block which were searched for by this system are characterized by making it generated as image data.

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the construction support information system using virtual reality, especially offers the analysis result information on the measurement data based on the target site using the virtual 3-dimensional scenography piled up and projected on actual space in the construction work, construction management information, etc., and relates to the construction support information system using the virtual reality aiming at rationalization of construction.

[0002]

[Description of the Prior Art] By development of computer technology in recent years, the proposal of the virtual reality which incorporated real virtual 3-dimensional scenography to

THIS PAGE BLANK (USPTO)

actual space is made. It projects on HMD (head mounted display) with which the observer equipped by making into virtual 3-dimensional scenography CG (computer graphics) beforehand created as an animation of a solid figure, it compounds optically with the actual space which the observer looked at through goggles, an observer is provided with visual activity information, and the simulation system which offers action exchange of the operator in actual space is proposed variously. This simulation system is called AR (OGUMENTEDDO reality) system. In this AR system, in order to support various activities which an observer does, offering CG information on high degree of accuracy that a suitable activity suggestion can be performed is called for.

[0003] In this AR system, on the half mirror located so that the light from the external world which carries out incidence through goggles may be made to penetrate, as 3-dimensional scenography, such as virtual structure by CG displayed on the display device included in HMD, is piled up with incident light, HMD of a see-through type which can be made to project through optical system is used. Thus, in AR system using HMD (it is hereafter described as STHMD.) of a see-through type, fusion to actual space and virtual solid space can be aimed at by laying CG image space with a sufficient precision on top of the actual space which the observer is looking at optically, and an observer's virtual reality can be realized. For this reason, it is important to grasp the three-dimension location of the view of the observer who equipped with STHMD in this AR system. It considers as the thing with indoor realistic laboratory level as an environment where an observer can use STHMD for the moment.

[0004] By the way, although the case which used virtual reality which was mentioned above for activity increase in efficiency is not reported by the civil work with many activities [on the outdoors], the technique of inserting in the scenery photograph of a original location etc. the completion anticipation structure created by CG, and performing simulation of a configuration or color is performed from the former. That is, in construction works, such as engineering works and a building, the construction location of the structure is grasped by the absolute coordinate, and the structure which has a structure dimension on a design based on the absolute coordinate is built. For this reason, if various kinds of construction can be performed for the various structures with CG image of a predetermined dimension on actual space using fitting and this, construction of quality equivalent to the result by the so-called skillful activity will be attained, and increase in efficiency of an activity at each process and improvement in precision can be realized.

[0005] Moreover, in actual construction, while performing measurement for work progress control etc., the ground situation of changing with progress of construction, the shape of strange [of the natural ground under the effect of work], etc. are measured, ***** to the shape of strange is incited based on the data, or various kinds of analyses for performing suitable

THIS PAGE BLANK (USPTO)

construction are performed, a case so that the ground situation of the working face location which advances in a tunnel construction work etc. based on these analysis results may change every moment -- the natural ground -- the shape of strange can be predicted beforehand and the required information for constructing safely can be acquired.

[0006] In tunnel excavation work, the following analysis systems are developed by the applicant as an example of analysis based on such a measurement result.

** Create the analytic model of the cross section for a tunnel beforehand [reverse analysis], perform reverse analysis based on various measurement data, and identify the elastic modulus of a circumferential remote crest, initial ground stress, and a Poisson's ratio (output in reverse analysis). Displacement and stress prediction of a natural ground or a timbering member accompanying next step story drilling are performed using this identification value.

** Analyze the geological structure in the tunnel vertical section direction of a natural ground using the digital image of three-dimension geology analysis system tunnel working face, and perform ***** for it beforehand supposing change of the geology in a working face inner.

** Select suitable ***** etc. to the fracture zone which encountered using construction databases, such as cure ***** fuzzy expert system working face image data and working face observation record, and use for construction of a preventive measure, emergency measures, etc.

** Key block analysis key block analysis presumes the location of the rock block (key block) with the danger of starting potentially at the time of a cavity or tunnel excavation, and magnitude, is performing predetermined ***** to this key block, and aims at stability of a tunnel etc.

[0007]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] By the way, in the engineering-works construction work which made tunnel excavation work the example, the room of the increase in efficiency of the activity which shows the following activities below by installation of AR system, and high-degree-of-accuracy-izing is expected.

[0008] (1) In forehand piling ** in the point receptacle method of construction for the borehole drilling in working face, rock bolt hole drilling as a timbering member, and ground support of the working face front, marking of the location which surveyed a laser marker and directly and was deduced was carried out with paint etc., the operator operated the control panel for the flea location of the drilling machine carried in the location at drill jumbo, and the drilling location was performing alignment. Therefore, skill on an activity was required.

(2) the timbering in the condition of having carried out marking of the timbering **** lump location with the laser marker, having hung in the timbering **** lump, and having been grasped by the lump machine -- a heavy industrial machine -- it hung, and it was made it as crowded in the part beforehand positioned by the location survey by actuation of an operator.

THIS PAGE BLANK (USPTO)

(3) Use of iron rods of lining concrete etc. was performed, surveying based on an engineering-drawing side.

(4) In the case of work progress control, the measurement person in charge was surveying an inner sky dimension in the survey point which opened predetermined spacing and was set up in the tunnel etc. after completion of the secondary lining of a tunnel using a steel tape or distance measuring equipment.

[0009] That is, in the conventional tunnel construction, the following points are pointed out as a trouble. Moreover, the policy for using an above-mentioned analysis result etc. more effectively in site operation is proposed.

(1) In the drilling of the borehole in working face, a rock bolt hole, and a forehand piling hole, although the drilling location of a base rock side could be checked with the laser marker, the decision of the flea include angle (putting angle) for determining the direction of the hole prolonged in a base rock etc. was an activity depending on the skilled operator's intuition, and an experience. If it puts and proper drilling which it is on a square cannot be performed, overbreak and the lack of an inner sky cross section will arise around a tunnel.

(2) a heavy industrial machine -- since an operator needs the auxiliary personnel who guide since the location which builds timbering cannot be seen directly, he also has a possibility that the increase in efficiency of an activity and an operator's security cannot fully be achieved.

(3) When inspecting finished work quality, there is only information on a survey point, and the information during a survey point also has a possibility that the poor finished work quality other than a measurement part cannot be covered, when it is not obtained at all, but the construction section is long and measurement takes great time amount.

(4) The analysis result by the analysis system mentioned above was outputted by the various output forms which used two-dimensional thru/or a three-dimensional display, etc., and needed to form the concrete construction plan based on the analysis result in the site further.

[0010] However, although those utilization gestalten be advance further, for example, the stress of strain distribution of a circumferential remote crest or a timbering member can be predict with a sufficient precision by the analysis result in reverse analysis, when an analysis value with the bigger analysis result obtained in a certain location (field) than a predetermined control value arise, what the die length of a proper rock bolt and the validity of proof stress can judge visually in an on-site location be desire in the location. Moreover, if convergence can check visually in a actual site, that predetermined inner sky is not securable can grasp intuitively. If virtual 3-dimensional scenography can be used concretely, there are the following advantages in each analysis.

[0011] Since it is accumulated as three-dimension coordinate data, the analysis result by the three-dimension geology analysis system is comparatively easy to display on AR system, by

THIS PAGE BLANK (USPTO)

superimposing and displaying an analysis result on a real image, can grasp working face front geology visually effectively on that spot, and can check the construction safety to drilling of the next step story which is not visible etc.

[0012] By superimposing and displaying on the real image in a actual site ***** furthermore selected by the fuzzy expert system, the effectiveness of ***** can be checked more easily. Conversely, the defect by unsuitable ***** etc. can be known in advance by comparing based on an old database, and the selection mistake of ***** by a young engineer etc. decreases sharply.

[0013] In the key block analysis mentioned above, it is assumed in ground Yamauchi, and while superimposing the configuration and magnitude of a key block which cannot be checked actually on a actual natural ground and being able to check them visually, arrangement of ***** for crash prevention, a direction, magnitude, etc. can be judged easily.

[0014] Then, it is shown in the object of this invention canceling the trouble which the Prior art mentioned above has, giving useful analysis result information, construction management information, etc. to various kinds of activities whose operators perform it in actual space as the virtual 3-dimensional-scenography information created by CG is inserted in in the actual space which the operator is looking at through STHMD, and aiming at improvement in the increase in efficiency of an activity, construction precision, and safety.

[0015]

[Means for Solving the Problem] In order to catch the actual space of the external world where this invention serves as an object for observation through a view location detection means to obtain an operator's view location, a view position detection means to acquire an operator's view position, and the goggles with which it equipped in order to attain the above-mentioned object in a visual field A graphic display means by which the image information displayed on the equipped display device while penetrating the incident light from said external world has the transfective side projected through built-in optical system, The construction support information database are recording section which gave and accumulated the index corresponding to a routing for the drawing object which generated the configuration of the structure constructed in the actual space used as said object for observation from three-dimension configuration data, It is based on the positional information which changed with the positional information of said operator called for from said view location detection means and the view position detection means, and migration of said operator. The drawing object reconstruction section which reconstructs said drawing object serially in order to make said drawing object superimpose on the fixed coordinate of the actual space used as said object for observation, The video-signal converter changed into the image information signal which can display the image data of said reconstructed drawing object on the display device in which

THIS PAGE BLANK (USPTO)

it was carried by said graphic display means, It is characterized by consisting of the video-signal transfer sections which transmit said image information signal to the video-signal receive section with which said graphic display means was equipped.

[0016] In order to catch the actual space of a view location detection means to obtain an operator's view location, a view position detection means to acquire an operator's view position, and the external world that serves as an object for observation through the goggles with which it equipped in a visual field A graphic display means by which the image information displayed on the equipped display device while penetrating the incident light from said external world has the transfective side projected through built-in optical system, The analysis section which analyzes using the measurement data which were collected on the spot and transmitted by predetermined means of communications as an input value, The construction support information database are recording section which accumulated the drawing object which processed the analysis result returned from this analysis section, and was generated as information-display data which can be projected into said visual field, It is based on the positional information which changed with the positional information of said operator called for from said view location detection means and the view position detection means, and migration of said operator. The drawing object reconstruction section which reconstructs said drawing object serially in order to make said drawing object superimpose on the fixed coordinate of the actual space used as said object for observation, The video-signal converter changed into the image information signal which can display the image data of said reconstructed drawing object on the display device in which it was carried by said graphic display means, It is characterized by consisting of the video-signal transfer sections which transmit said image information signal to the video-signal receive section with which said graphic display means was equipped.

[0017] As for said construction support information database are recording section, it is desirable to change the image information which said drawing object gives the index corresponding to a predetermined menu, and is accumulated, and said operator chooses said index by actuation of an image change means at hand, and is projected on said graphic display means.

[0018] The above-mentioned analysis section is that it is a reverse analysis system or a three-dimension geology analysis system, and it generates as image data which continued the cross-section data of this system, and is made to make it accumulate in said construction support information database. In or the phase where predetermined cure ***** which is a cure ***** fuzzy expert system and was accumulated in this system was chosen It is desirable that making it generated as image data, the configuration of the key block which is a key block analysis system further and was called for by this system, and/or magnitude are generated as image data.

[0019]

THIS PAGE BLANK (USPTO)

[Embodiment of the Invention] Hereafter, the gestalt of the 1 operation using the virtual reality of this invention of a construction support information system is explained with reference to an accompanying drawing. Drawing 1 is system configuration drawing having shown an example of the construction support information system of this invention. As shown in drawing 1, the operator (operator) who operates a construction machine in a tunnel has equipped with STHMD, in order to feel the virtual reality by 3-dimensional scenography in addition to predetermined insurance equipment. With a well-known optical see-through method, this STHMD is the display of the goggles type which can project an image, and it is used for Operator's W face section, equipping it with it directly.

[0020] STHMD10 is equipped with the graphic display device 12 which can project an image on the half mirror (not shown) held in the incident light from the external world goggles 11 part equipped with the liquid crystal shutter (not shown) which can adjust transparency, and in goggles 11. The TFT-liquid-crystal panel is used as a display device of a graphic display device 12. The image displayed on this liquid crystal panel is projected on a half mirror through the optical system (not shown) which consisted of two or more relay lenses held in goggles 11 flank, and mirrors.

[0021] As furthermore shown in drawing 3, some hard hats which Operator W was wearing are equipped with the reflecting prism 21 as a view location detection means. This reflecting prism 21 reflects the laser light discharged from the total station 22 installed by the predetermined location in back. Since the reflected light is again received by the total station 22 side, the location of Operator's W parietal region location E0 can be grasped. Moreover, grasping the parietal region location E0 of the operator W who moves, since the total station 22 is equipped with the automatic-tracking function can be continued serially. In addition, since location amendment with Operator's W parietal region location E0 and the view location E1 (mid gear between pupils on either side) is also performed serially, Operator's W positional information is dealt with as a view location E1. In addition, although this view location E1 is converted into the pupil location (EL, ER) of right and left of a proper and is dealt with by the operator for the 3-dimensional scenography creation mentioned later, below, the view location E1 represents and describes it for simplification of explanation.

[0022] For example, since the absolute coordinate of a pithead is searched for in the structures, such as a tunnel, it uses like the distance from a pithead and total station 22 location can be set up. Furthermore, it can ask for Operator's W view location E1 by ranging from the total station 22. On the other hand, in outdoor work, Operator's W view location E1 is detectable by the absolute coordinate with the monitoring feature by DGPS (differential method GPS) using Satellite S.

[0023] The gyroscope sensor 23 is attached in Operator's W hard hat as a view position

THIS PAGE BLANK (USPTO)

detection means to detect the view position E2 of the operator W in the condition of having equipped with STHMD10. The gyroscope sensor 23 used with the gestalt of this operation consists of a sensor of three shafts, and the position (include angle) data to a sensor core can be gained with this sensor output. the gyroscope sensor 23 -- replacing with -- a servo -- also by equipping with an accelerometer etc., it is possible to detect the view position E2. You may make it pursue the view position E2 and the view location E1 from a motion of Operator's W detected pupil by furthermore using software. Operator's W view location E1 and the view position E2 are acquired as data using such data. This data is used as information for renewal of the drawing object of the virtual 3-dimensional scenography displayed on STHMD10 with which Operator W has equipped behind.

[0024] Here, data processing which obtains the view position E2 and the view location E1 using the gyroscope sensor 23 and reflecting prism 21 with which Operator's W parietal region was equipped is explained. From the gyroscope sensor 23 with which Operator's W head was equipped, the direction which Operator's W head (face) has turned to is detected as a unit vector E2 (θ_x , θ_y , θ_z) of the circumference of the XYZ shaft which made the center position of the gyroscope sensor 23 the zero. The view position E2 is acquired based on this unit vector E2. The coordinate E0 (X_0 , Y_0 , Z_0) of the location of a reflecting prism 21, i.e., Operator's W parietal region location, is acquired from the reflected light information which received and obtained again the laser light discharged on the other hand from the total station 22 installed at the back known survey point A (X , Y , Z) by the total station 22 side. It is amended by this pan in the view location E1 (X_1 , Y_1 , Z_1) which is a pupil period alignment location of an operator's left right eye. Thus, also when Operator W changes a location with various kinds of activities, the automatic-tracking function of the total station 22 can detect the positional information (view location E1) serially. the position coordinate of the actual space which Operator W is checking by looking at this time is beforehand decided as a fixed coordinate by location survey -- having -- **** -- a sake -- Operator's W direction of a look, distance, and the object for a check by looking -- it is -- actual -- space -- a meaning -- a response -- the price -- a **** decision is made. It can project on the actual space which Operator W is looking at by this, and STHMD10 which Operator W has equipped with the virtual 3-dimensional scenography piled up thoroughly.

[0025] Next, the construction support information database for various kinds of construction used in order to build the virtual 3-dimensional scenography displayed on actual space by superimposing is explained. Various kinds of temporary construction from which a construction support information database serves as an object which offers construction exchange using virtual reality, Based on the basic form-like data 30 of the three-dimension configuration which created the solid configuration of the three dimension of the **** structure etc. by the

THIS PAGE BLANK (USPTO)

predetermined contraction scale based on the actual engineering-drawing side etc., as view information The configuration, It considers as the configuration where the vanishing point was changed suitably, is generated as a drawing object which can draw, and is accumulated in the construction support information database are recording section 32 shown in drawing 1 .

[0026] The basic form-like data 30 are created on the three-dimensional-CAD software which works on a workstation (WS) or a personal computer (PC), and are saved by DXF file format. And it is accumulated in the construction support information database are recording section 32 as a drawing object changed into the data format [handling / data format] with virtual 3-dimensional scenography construction software. From the construction support information database are recording section 32, the drawing object as construction support information data [/ based on the index given] is suitably taken out by actuation of the image change controller 31 (refer to drawing 1) which the operator W who is near [actual] a site carries, and can display now by it. A table -1 is a chart having shown a part of construction support information database are recording section 32 in the gestalt of this operation. As shown in this table, in the construction support information database are recording section 32, the drawing object as each construction support information data is accumulated in the work item and the table format of having made it corresponding to the matrix classified by need construction support information, respectively. For this reason, also when work items differ, construction support information in common is repeatedly taken out from the construction support information database are recording section 32.

[0027]

[A table 1]

表-1 施工情報データベース蓄積部 施工情報データ一覧表 (抜粋)

	トンネル工事						法面保護工			開削工事
	発破工	支保工架込み	ロックボルト工	吹付コンクリート	照持工	二次掘工	切土工	盛土工	植生工	
位置情報	○	○	○				○	○	○	○
原位置情報	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
出来形イメージ				○	○	○	○	○	○	○
解析情報							○	○		○
計画情報			○	○			○	○		○
配孔情報							○	○		○
位置	○		○				△			△
ノミ方向	○		○				△			△
深さ	○		○				△			△
支保情報										
種類		○	○	○			△			○
サイズ		○	○				△			○
間隔		○	○				△			○
厚さ				○		○	△			
長さ			○							○

[0028] As shown in this table, it can respond to the index corresponding to a work item with the various fine construction support information needed as an example by each construction phase in a tunnel construction work, a slope protection, excavation work, etc. Moreover, level attachment (it displays by O and **) as indispensable data and option data is carried out to each

THIS PAGE BLANK (USPTO)

construction support information, and the drawing object which an operator needs according to a situation can also be chosen suitably.

[0029] If the basic form-like data 30 used as the basis of the drawing object accumulated in this construction support information database are recording section 32 are the creation information of the drawing object of the rock bolt of rock bolt ** for example, in a tunnel construction work, it consists of data, such as a diameter, die length, the placing direction of a rock bolt, and a placing location. Moreover, the various information on the deformed bar in the iron rod data for a secondary lining etc. is also given as information on the same wire rod. Wire rod data like reinforcement are generated in the solid data which consist of field configurations like lining concrete as a drawing object which stuck the suitable texture element which took texture into consideration to the frame data used as a frame, although a real feeling is not spoiled in an image even if it performs suitable simplification in a display.

[0030] By the way, in case a drawing object is generated by making Operator's W positional information (the view location E1, view position E2) into a view parameter, the breadth of the actual space which Operator W is looking at through STHMD10 actually, and the adjustment for the display scale of a drawing object, a vanishing point, and stereoscopic vision are not taken strictly. Then, in order to generate this drawing object as a real solid image in actual space, initialization of positional information (E1, E2), fine adjustment, adjustment of a display scale, and image adjustment using the body information on each operator proper (the gap with the parietal region E0 and the view location E1, pupillary distance) can be performed through the image change controller 31. The solid configuration of a drawing object etc. is changed based on the view parameter which follows and changes to migration of Operator's W view in the drawing object reconstruction section 34, performing these adjustments.

[0031] Furthermore, this drawing object is displayed on the display device (not shown) as a graphic display device 12 through the video-signal receive section 15 carried in Operator's W STHMD10 from the HMD controller 43 as the image data-conversion section 40 and the video-signal transfer section as virtual 3-dimensional scenography.

[0032] Here, the configuration of the image data-conversion section 40 for changing into 3-dimensional scenography the drawing object built within the note PC 31 with reference to drawing 2 is explained. The display of the note PC 31 which Operator W carries consists of four split screens, as typically shown in drawing 2 . In order to carry out stereoscopic vision of the drawing object to an up screen by STHMD10 among these four split screens It generates as an image the left eye in consideration of a sight distance when a drawing object sees independently by the eye of right and left of Operator W, and an optical-path-length difference, and for right eyes, and is displayed (L image and the image for right eyes are hereafter described for the image for left eyes as R image.). others -- it is outputted to the split screen as numerical

THIS PAGE BLANK (USPTO)

information which follows a motion of Operator W with the detection means which Operator's W positional information (the view location E1, view position E2) mentioned above, and changes serially.

[0033] The high-speed rendering of the drawing object which constitutes above-mentioned L image and R image is carried out based on the view location E1 as this numerical information, and the view position E2, and it is updated by the newest image data. And this image data (L image, R image) is outputted from a note PC 31 as an analog RGB signal, is changed into an NTSC signal by the scan converter further shown in drawing 2 , and is outputted to the HMD controller 43 by it.

[0034] As shown in drawing 2 , it is separated into two image data of right and left of R image data and L image data by the scan converter as the image data-conversion section 40, and the above-mentioned analog RGB signal can acquire a solid video signal by outputting this image data to STHMD by turns. Here, the procedure which generates the 3-dimensional scenography for right eyes and the 3-dimensional scenography for left eyes from the drawing object in consideration of Operator's W positional information (the view location E1, view position E2) which is serially stored on the note PC 31, and which was mentioned above is explained briefly. First, Operator's W positional information is given as a view parameter to R image and L image which were displayed on the screen of a note PC 31 with virtual 3-dimensional scenography construction software. And corresponding to the given view parameter, a high-speed rendering is performed at a predetermined interval in each image. And the newest image data updated by reconstruction is inputted into the 1st scan converter 41 of the image data-conversion section 40, and R image data for right eyes is taken out with the 1st scan converter 41. Furthermore, through out of the output signal is carried out to the 2nd scan converter 42, and, subsequently L image data for left eyes is taken out. Taking an external synchronization, this R image data and L image data are switched to a high speed, and are outputted to the HMD controller 43 as the video-signal transfer section. The picture signal is changed into the NTSC conformity signal at this time. A solid picture signal is sent out to the video-signal receive section 15 of STHMD10 with which Operator W has equipped through this HMD controller 43, and virtual 3-dimensional scenography is displayed on the display device in STHMD10. At this time, either wireless or a cable is possible for the data transmission from the HMD controller 43 to Operator's W STHMD10.

[0035] Next, the utilization environment of this system of an operator shown in drawing 1 and drawing 3 is explained briefly. First, Operator W equips with STHMD10 near the location used as the object for an activity. This STHMD10 is equipped with the gyroscope sensor 23 which can measure the revolution of the three dimension Operator's W view as miscellaneous equipment. Moreover, with the gestalt of this operation, the crowning of the hard hat which

THIS PAGE BLANK (USPTO)

Operator W is wearing is equipped with the reflecting prism 21. By performing laser ranging serially by the total station 22 grade set as the known coordinate point behind an activity location to this reflecting prism 21, Operator's W view location is tracked automatically and, thereby, Operator's W positional information is acquired by the absolute coordinate. In addition, in the case of the outdoors, Operator's W absolute coordinate can be directly searched for by DGPS.

[0036] Operator W operates the image change controller 31, and chooses construction support information required for a future activity from the inside of the construction support information database are recording section 32 with the index menu of a construction support information database. The drawing object of the construction support information chosen at this time is reconstructed as the newest configuration which made Operator's W positional information the view, and is transmitted to the display device of Operator's W STHMD10. The display image is projected on the half mirror within the visual field of STHMD10 as if it existed in the actual space which Operator W is observing through built-in optical system further. The projected virtual 3-dimensional scenography is the completion configuration of the activity which Operator W does after this, or is an index which guides an activity. For this reason, Operator W can do each activity directly according to the projected image, without carrying out scale out of the value of a drawing at hand etc. in a site. When Operator W moves at this time or the head is moved, that positional information is serially sent to PC31, and the configuration of a drawing object and the renewal of a vanishing point are made. Thereby, according to the view information of the operator W after migration, Operator W can pile up a virtual body on actual space in the actual space of the direction which he is looking at, and can always follow up certainly the activity by which Operator W continued.

[0037] Next, the example of application in the case of doing an activity at each process in tunneling work as an example using this system is explained. Drawing 4 (a) is ** type drawing of longitudinal section having shown typically the virtual reality used for the drilling of the borehole of the working face at the time of the tunnel excavation by the excavation method by blasting. The borehole of a drilling schedule is displayed on this drawing by the imaginary line for explanation. On the other hand, the actual space containing the working face 1 which Operator W is looking at actually, and the virtual image of the borehole 2 of the drilling schedule projected on the half mirror of STHMD10 which Operator W carried have projected drawing 4 (b) in the condition of having been superimposed on the location and a direction. Operator W can move the head of the drilling rod 5 of the rock drill which borehole 2 location as a virtual solid image projected on the face of actual space and the required drilling rod 3 put, and was carried in the rock bolt jumbo jet 4 according to the angle on extension of the borehole 2 projected in three dimension, and can do a drilling activity. At this time, the ground situation

THIS PAGE BLANK (USPTO)

in the ground of the working face back is also doubled and projected on the virtual solid image. For this reason, the shot activity by weak part 1a with observation difficult at working face 1 can be done carefully. Thus, since the borehole 2 of a drilling schedule is displayed on the actual working face 1 which Operator W is observing in three dimension, like before, a drilling a hole point can be projected with a laser pointer etc., or a drilling rod can put to working face, without depending to the case where marking is carried out at intuition, by a spray etc., and an angle etc. can be determined as accuracy at it. For this reason, the overbreak of a tunnel decreases substantially. Moreover, since a rock drill can be positioned promptly, there is also an advantage that the whole routing is shortened.

[0038] Drawing 5 (a) is drawing of longitudinal section explaining the virtual reality used with drilling when building timbering in working face back. When Operator W observes the working face 1 side of a tunnel from the assembly location of timbering, in the visual field seen through Operator's W STHMD10, the virtual 3-dimensional scenography by which the steel support 6 of predetermined size was built in the predetermined pitch in the depth direction as shown in drawing 5 (b) has projected. Therefore, the actual timbering 7 is moved so that it may lay on top of the timbering location in this virtual 3-dimensional scenography, and timbering 7 is built easily for an exact location, and promptly, and can be installed.

[0039] Drawing 6 (a) is the longitudinal section which showed the condition that the inspector who the process to a lining concrete work is completed and conducts finished-work-quality inspection of a secondary lining was moving in the inside of a tunnel. In the completion condition shown in drawing 6 (a), if the virtual 3-dimensional scenography of the secondary lining concrete 8 set as the exact dimension configuration is made to superimpose on the actual lining concrete 9 and is observed, the configuration of the lining concrete 9 placed actually and the lining concrete 8 beforehand set up on the design and the construction error of thickness of lining can be checked. By comparing lap partial 8a of the lining configuration of virtual 3-dimensional scenography, and an actual lining at this time, the gap with the part which became excessive thickness to the design lining cross section of this normal, the part used as too little thickness, and a tunnel axis etc. can be known intuitively and checked, and finished-work-quality precision can be checked promptly. Moreover, in the finished-work-quality inspection by this approach, it is effective in the ability to carry out now covering an overall length, walking along finished-work-quality inspection currently omitted for every a conventional predetermined distance degree in the tunnel vertical section direction.

[0040] Next, the measurement data of a site are collected, the result analyzed based on that measurement data is generated as predetermined virtual 3-dimensional scenography, this virtual 3-dimensional scenography is displayed on the real image within the visual field which looks actual through the on-site operator's W STHMD in piles, and the gestalt of the operation which

THIS PAGE BLANK (USPTO)

enabled it to perform the quick safety check in an on-site location, geological structure presumption, etc. is explained with reference to drawing 7.

[0041] In this system, the analysis result which collected various measurement data in order to perform various kinds of analyses mentioned above, as shown in system configuration drawing of drawing 7, processed the data, and was performed in the analysis section 50 as input data is incorporated in the construction support information database 32 and the drawing object reconstruction section 34, and is generated as predetermined virtual 3-dimensional scenography.

[0042] Hereafter, a tunnel construction work is explained to an example like the above-mentioned example of construction. The following is typical as measurement data collected in a tunnel site.

(1) The strange-like situation of the strain of the data and the amount of convergence collected for every predetermined measurement cross section, the amount of crown settlement measurement, the amount of ground displacement in a base rock, stress variation, and a timbering member (an H beam, pneumatically applied concrete, a rock bolt, rock anchor), stress, axial tension, and timbering (an H beam, a rock bolt, pneumatically applied concrete)

(2) Data and working face observation records collected in a face (the image of working face, a lithologic character, weathering deterioration extent, the frequency and gestalt of a crack, springwater situation, etc.)

- the strike and dip information on a crack of a base rock -- die-length data are measured on various range finders, a precision photogrammetry, a steel tape, etc. among these, measurement which used measuring machine machines, such as an in-situ strain meter, various strain meters, and a stress meter, is performed, and other data are collected by the record medium as data of a fixed format using the input device of data ROGGA, respectively.

[0043] Furthermore, each of these collected data are transmitted to the data-processing sections, such as PCs, such as an administration building near a site, to continuation thru/or predetermined timing based on a well-known communications protocol. Measurement data are processed into the data format as the input data of the target analysis system, or an are recording item of a database in this data-processing section (preprocessor section). Moreover, the digital image collected in the precision photogrammetry mentioned above can acquire a plate coordinate by performing an image processing by the predetermined approach. It is effective considering this plate coordinate as basic data of a virtual solid image.

[0044] Although the top view and side elevation which continued from two or more cross-section data about the tunnel vertical section direction are obtained especially in the "three-dimension geology analysis system" mentioned above as shown in drawing 8, further, these geological structure can be generated as virtual 3-dimensional scenography of this invention, and can be laid on top of a actual visual field. Thereby, in working face, as shown in

THIS PAGE BLANK (USPTO)

drawing 9 (a) and (b), in each direction of the check-by-looking directions A and B (refer to drawing 8), Operator W can grasp the magnitude of the fracture zone which cannot be checked superficially, a fault, etc., strike dip, etc. in three dimensions including change of the geology of the method of the back from tunnel working face. Thereby, it is utilizable for suitable selection of various kinds of auxiliary methods of construction applied with progress of working face.

[0045] Moreover, in the reverse analysis system of the gestalt of this operation, the system of the capacity of extent installable in PC installed in the field office is assumed. What processed convergence measurement data as input data of the reverse analysis system on this PC is used. Usually, in this kind of reverse analysis system, the analytic model of an object cross section is created beforehand, and it analyzes by inputting measurement data into this analytic model. A circumferential remote crest (base rock) elastic modulus, initial ground stress, and a Poisson's ratio are identified in this analysis, and displacement and stress prediction of a natural ground or a timbering member accompanying drilling of a next step story can be performed using this identification physical-properties value. Therefore, tunnel convergence can be visually checked by generating the variation rate of a tunnel levee crown and a side attachment wall as virtual 3-dimensional scenography, and piling up on a actual visual field.

[0046] The prediction analysis using a reverse analysis result can also predict the stress of strain distribution of a circumferential remote crest or a timbering member with a sufficient precision. It can pile up with the image of an implementation field by making into an image these strain distribution and stress distribution of a timbering member, the field which the value beyond an instrumentation reference value produced as compared with predetermined instrumentation reference values (a strain, stress intensity, etc.). drawing 10 -- as virtual 3-dimensional scenography -- a natural ground -- a tunnel in the condition that projected the design rock bolt B of imagination inside, and the timbering operation of Bolt B was then effective against it -- a natural ground -- the stress distribution of the timbering member in a side is **-type-displayed in the contour configuration C. Thereby, Operator W can judge visually which part of a natural ground is in an allowed value actually.

[0047] Moreover, in a cure ***** fuzzy expert system, the geology, the various measurement data, the working face image data, and working face observation record which were acquired from the site can be collated with the are recording data in a database, and suitable ***** can be selected if needed. It can aim at speeding up of construction, and improvement in precision as a guide at the time of construction while selected ***** can make the magnitude and the range which were recommended able to reconstruct as a virtual space image according to the coordinate of an implementation field, and configuration data, can be piled up with the scene of the site which authorized personnel checked by looking and can check the magnitude of the ***** etc. visually.

THIS PAGE BLANK (USPTO)

[0048] furthermore, the danger of starting potentially as a result of key block analysis -- **** -- even when the location of the rock block (key block) to require and magnitude are checked, since the key block exists in the ground, it cannot be seen actually. Then, the location and magnitude are reconstructed as virtual 3-dimensional scenography, and it enables a location of a key block, the direction of *****, etc. which are very hard to specify it as the range which authorized personnel are checking by looking by piling up the image in real construction to judge easily. Since the direction of drilling always changes [in the case of a dome-like (hemispherical) cavity etc.] especially unlike the usual tunnel, it is hard to pinpoint a key block location. In such a case, the effectiveness is still larger.

[0049] Plotting of the result of these reverse analyses and key block analysis was conventionally carried out as two-dimensional thru/or a three-dimension output. In this invention, an operator's view coordinate data is incorporated in these analysis result data, and it is generating as a virtual solid image. These image data is changed into image files, such as a DXF file, by the coordinate transformation program if needed. And generate as an object which incorporated an operator's view coordinate, STHMD is made to give a see-through indication, and information is piled up in an operator's visual field.

[0050] although a display image is usually displayed in three dimensions as three-dimension data -- predetermined -- a natural ground -- convergence in a cross section, distortion, etc. may attain simplification of data, and may be made legible by indicating by two-dimensional. In addition, not only the working face front within the visual field as which the operator regarded working face about the display of three-dimension-geological structure but the display covering the tunnel whole line is possible. It increases and the various auxiliary methods of construction furthermore selected with the fuzzy expert system, for example, an additional rock bolt, and the condition of having generated pneumatically applied concrete, mirror pneumatically applied concrete, and the virtual image as which ** etc. considered selection member data, a construction pitch, the construction range, etc. by winning popularity the point; and having added the auxiliary method of construction to the actual condition ground can be checked visually.

[0051] although the above explanation explained the example of construction an example mentioned tunneling work as an example and an example applied the system of this invention in each process , it be also possible to perform crest stop work promptly by check the configuration of what perform complicated space setting out [in a location narrow as target work] , and the cutting in earthwork , a landfill , etc. , and give the drilling condition , assembly information on timbering , etc. in drilling temporary works .

[0052]

[Effect of the Invention] As stated above, the analysis result information on the measurement

THIS PAGE BLANK (USPTO)

data adapted to the target site, construction management information, etc. are offered using the virtual 3-dimensional scenography piled up and projected on actual space in the construction work, and the effectiveness of speeding up of construction, rationalization, and improvement in safety is done so.

[0053] Moreover, the effectiveness of becoming easy to judge range, the ***** section, etc. of a reinforcement method of construction concretely is also expectable by three-dimension-izing the measurement data and the analysis result which were 1-dimensional line information or two-dimensional side information in this invention, and visualizing as 3-dimensional scenography which piled up an operator's vision information further.

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] Outline system configuration drawing having shown the gestalt of the 1 operation using the virtual reality by this invention of a construction support information system.

[Drawing 2] Outline system configuration drawing having shown the gestalt of 1 operation of the image data-conversion section among the construction support information systems of this invention.

[Drawing 3] The ** type explanatory view having shown the gestalt of 1 implementation of the system configuration for acquiring an operator's positional information.

[Drawing 4] The ** type state diagram having shown the gestalt of the operation which applied this system to the borehole drilling activity in a tunnel construction work.

[Drawing 5] The ** type state diagram having shown the gestalt of the operation which applied this system to the timbering ***** lump activity in a tunnel construction work.

[Drawing 6] The ** type state diagram having shown the gestalt of the operation which applied this system to the lining finished-work-quality inspection in a tunnel construction work.

[Drawing 7] Outline system configuration drawing having shown the gestalt of the operation using the virtual reality by this invention of everything but a construction support information system.

[Drawing 8] The ** type explanatory view having shown the example of an analysis result of a three-dimension geology analysis system.

[Drawing 9] The ** type state diagram having shown the gestalt of the operation which applied the data shown in drawing 8 as working face observation data in a tunnel construction work.

[Drawing 10] The ** type state diagram having shown the ground Yamauchi stress-distribution condition by the design rock bolt.

[Description of Notations]

10 See-through Head Mounted Display (STHMD)

11 Goggles

THIS PAGE BLANK (USPTO)

12 Graphic Display Device
15 Video-Signal Receive Section
21 View Location Detection Means
23 View Position Detection Means
31 Image Change Controller
32 Construction Support Information Database Are Recording Section
33 Image Data-Conversion Section
40 Image Data-Conversion Section
43 Video-Signal Transfer Section
50 Analysis Section

THIS PAGE BLANK (USPTO)